



⑯ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 101 24 803 A 1**

⑤ Int. Cl. 7:  
**G 02 B 5/30**  
G 03 F 7/20  
G 03 F 7/00

21 Aktenzeichen: 101 24 803.2  
22 Anmeldetag: 22. 5. 2001  
23 Offenlegungstag: 28. 11. 2002

DE 10124803 A1

⑦ Anmelder:

74 Vertreter:  
Patentanwälte Ruff, Wilhelm, Beier, Dauster & Partner, 70174 Stuttgart

72 Erfinder:  
Schuster, Karl-Heinz, 89551 Königsbronn, DE

**66 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:**

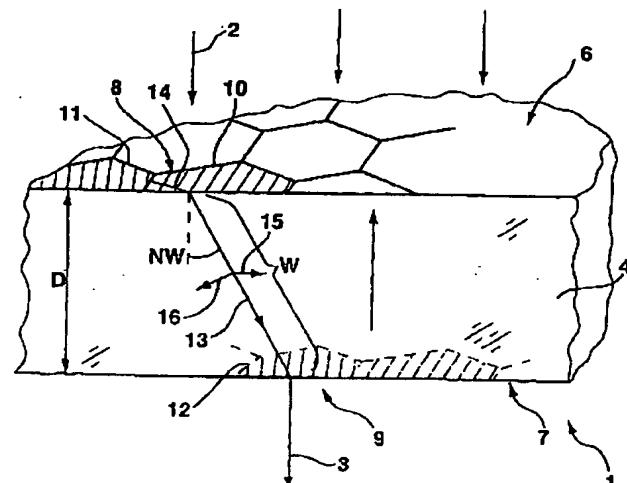
DE 198 07 120 A1  
DE 195 35 392 A1  
DE 30 35 025 A1  
US 58 47 872  
WO 98 52 077 A1

JP 05181088 A, In: Patent Abstracts of Japan:

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

#### 54) Polarisator und Mikrolithographie-Projektionsanlage mit Polarisator

Ein Polarisator, der dazu geeignet ist, aus einfallendem linear oder zirkular polarisierten Licht im wesentlichen ohne Transmissionsverluste austretendes radial oder tangential polarisiertes Licht zu erzeugen, hat gemäß einer Ausführungsform eine Platte aus doppelbrechendem Material, auf deren Eintritts- und Austrittsseite kleine Bereiche (11, 12) mit ablenkenden Strukturen (8, 9) in Form von Gittern oder Fresnell-Oberflächen ausgebildet sind. Die Kristallachse (5) des doppelbrechenden Plattenmaterials steht parallel zur Einfallerichtung des Lichtes. Durch die ablenkenden Strukturen wird das Licht in eine windschief zur Kristallachse (5) verlaufende Durchtrittsrichtung (13) abgelenkt, wodurch eine Phasenverzögerung zwischen den Feldkomponenten des durchtretenden Lichtes erzeugt wird. Durch Einstellung geeigneter Neigungswinkel (NW) zwischen Durchtrittsrichtung und Kristallachse sowie geeigneter Plattendicken (D) können aus eintretendem zirkular oder linear polarisiertem Licht austretende Lichtbündel mit zylindersymmetrischer Polarisationsverteilung (tangential oder radial) erzeugt werden.



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft einen Polarisator zur Umwandlung eines entlang einer optischen Achse eintretenden Lichtbündels in ein austretendes Lichtbündel, welches über seinen Querschnitt eine vorgegebene Verteilung lokal unterschiedlicher Polarisationszustände aufweist.

[0002] Bei mikrolithographischen Projektionsbelichtungsanlagen wird häufig der Polarisationszustand des zur Bilderzeugung genutzten Lichtes gezielt beeinflußt, um die Abbildungsqualität zu verbessern. Hierzu können gattungsgemäße Polarisatoren im Beleuchtungssystem und/oder im Projektionsobjektiv eingesetzt werden.

[0003] Aus der DE 195 35 392 ist ein derartiger Polarisator bekannt, der für den Einsatz im Beleuchtungssystem vorgesehen ist und ein austretendes Lichtbündel mit im gesamten Querschnitt im wesentlichen in radiale Richtung polarisiertem Licht erzeugt. Die radiale Polarisation ist für Objektive mit typischer bildseitiger numerischer Apertur von ca. 0,5 bis ca. 0,7 und Photoresist ohne Antireflexbeschichtung gut geeignet, um Störungen aufgrund der polarisationsselektiven Reflexion am Photoresist unter Einfallswinkeln im Bereich des Brewster-Winkels zu unterdrücken. Dadurch ergibt sich eine optimale Einkopplung des Lichts in den Resist.

[0004] Eine Ausführungsform zur Umwandlung von eintretendem linear polarisierten Licht in radial polarisiertes Licht umfaßt eine Vielzahl flächenfüllend angeordneter, sechseckiger Halbwellenplatten aus doppelbrechendem Material, deren Kristallachsen senkrecht zur Richtung des einfallenden Lichtbündels so ausgerichtet sind, daß jede Halbwellenplatte die Polarisationsrichtung des einfallenden Lichtes in Richtung eines die Halbwelleplatte durchschneidenden, auf die optische Achse gerichteten Radius umlenkt. Diese segmentierte Anordnung erzeugt die gewünschte vorgegebene Verteilung lokal unterschiedlicher Polarisationsvorzugsrichtungen ausschließlich durch Drehung des Polarisationszustandes des eintretenden Lichtes, nicht durch Filterung. Dadurch wird eine hohe Transmission erreicht. Die Herstellung derartiger Polarisatoren ist aufgrund des segmentierten Aufbaus aufwendig. Außerdem kann die Dicke des Polarisators, die durch die verwendete Wellenlänge und durch den senkrecht zur Kristallachse vorliegenden Brechzahlunterschied der senkrecht zueinander polarisierten Feldkomponenten festgelegt ist, je nach Wellenlänge und verwendetem Material sehr gering werden, was erhöhten Aufwand bei der Fassung derartiger Elemente erfordert.

[0005] Aus der US 5,365,371 und dem zugehörigen CIP-Patent US 5,436,761 ist eine Projektionsbelichtungsanlage für die Mikrolithographie bekannt, bei der ebenfalls eine radial gerichtete Linearpolarisation des Lichtes eingeführt wird, um Störungen bei der Bilderzeugung im Resist zu unterbinden. Es werden verschiedene Ausführungen für Polarisationsfilter gezeigt, die zu hohem Lichtverlust führen. Die Radialpolarisatoren sind im Bereich der Pupillenebene bzw. der Systemapertur des Projektionsobjektivs untergebracht.

[0006] Aus der US 5,691,802 ist ein katadioptrisches Projektionsobjektiv bekannt, in dessen Pupillenebene eine polarisierende Platte angeordnet werden kann. Diese segmentierte Platte hat eine innere Kreiszone und eine äußere Ringzone, die zueinander orthogonal linear polarisiertes Licht erzeugen und zugleich verschiedene Brechungssindizes haben. Damit werden zwei nicht interferierende Lichtbündel geschaffen, die unterschiedliche Bildebenen erzeugen. Das Ganze dient zur Vergrößerung der Schärfentiefe.

[0007] Aus der US 4,755,027 sind polarisierende Axicon-Anordnungen bekannt, die mit Hilfe konischer Oberflächen austretende Lichtbündel erzeugen können, die an jedem

Punkt ihres Querschnittes entweder eine radiale oder eine tangentielle Polarisationsvorzugsrichtung in Bezug auf die optische Achse haben, also jeweils eine zylindersymmetrische Verteilung unterschiedlicher Polarisationsvorzugsrichtungen.

[0008] Es ist Aufgabe der Erfindung, einen Polarisator der eingangs erwähnten Art zu schaffen, der sich durch einfache Aufbau, kostengünstige Herstellung und hohe Transmission auszeichnet. Der Polarisator soll insbesondere dazu geeignet sein, aus einfallendem zirkular oder linear polarisierten Licht austretendes Licht mit zylindersymmetrischer Verteilung der Polarisationsvorzugsrichtungen zu erzeugen.

[0009] Zur Lösung dieser Aufgabe schlägt die Erfindung einen Polarisator mit den Merkmalen von Anspruch 1 vor. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den abhängigen Ansprüchen angegeben. Der Wortlaut sämtlicher Ansprüche wird durch Bezugnahme zum Inhalt der Beschreibung gemacht.

[0010] Bei erfindungsgemäßen Polarisatoren ist zur Erzeugung einer Phasenverzögerung zwischen senkrecht zueinander polarisierten Feldkomponenten des durchtretenden Lichts mindestens ein doppelbrechendes Element vorgesehen, das eine Kristallachse und eine axiale Dicke hat. Der beleuchtete Querschnitt des Polarisators ist in eine Vielzahl von Bereichen bzw. Feldern aufgeteilt, die vorzugsweise im wesentlichen flächenfüllend angeordnet sind. Mindestens einer dieser Bereiche ist so ausgebildet, daß die Durchtrittsrichtung des Lichts in diesem Bereich windschief zur Richtung der Kristallachse des Bereichs verläuft. Vorzugsweise ist jeder der Bereiche in dieser Weise ausgebildet. Ein windschiefer Durchtritt zeichnet sich dadurch aus, daß die Durchtrittsrichtung in einem Neigungswinkel von mehr als 0° und weniger als 90° zur Richtung der Kristallachse verläuft. Die Durchtrittsrichtung und die Kristallachse spannen eine Durchtrittsebene auf. Für jeden der windschief durchstrahlten Bereiche sind die axiale Dicke und der Neigungswinkel derart aneinander angepaßt, daß eine optische Weglängendifferenz der Feldkomponenten in diesem Bereich nach Durchtritt durch den Polarisator einem vorgegebenen Gangunterschied entspricht. Dieser ist vorzugsweise über den gesamten Querschnitt gleich. Die Orientierung der Durchtrittsebene bzw. der Neigungsrichtung ist für jeden windschief durchstrahlten Bereich so eingestellt, daß sich am Austritt die für diesen Bereich lokal gewünschte Polarisationsvorzugsrichtung ergibt.

[0011] Der Polarisator wirkt also in jedem seiner windschief durchstrahlten Bereiche wie eine Verzögerungsplatte, bei der sich der Gangunterschied G gemäß  $G = W \times |n_{a0} - n_{s0}|$  aus dem Produkt der in Durchtrittsrichtung durchlaufenen Weglänge W zwischen Eintritt und Austritt und dem Betrag der Differenz der Brechungsindizes  $n_a$  und  $n_s$  für die beiden senkrecht zueinander polarisierten Feldkomponenten (ordentlicher Strahl und außerordentlicher Strahl) ergibt. Dabei ist die den Gangunterschied mitbestimmende Brechzahlendifferenz der Feldkomponenten vom Neigungswinkel NW und von der Art des doppelbrechenden Materials abhängig und kann entsprechend durch Wahl des Neigungswinkels eingestellt werden.

[0012] Wird beispielsweise ein kleiner Neigungswinkel zur Kristallachse eingestellt, so ist die Brechzahlendifferenz, welche in Richtung der Kristallachse verschwindet, relativ klein, so daß zur Erzielung eines gewünschten Gangunterschiedes die axiale Dicke entsprechend groß gewählt werden kann. Dies erleichtert die Fertigung und das Handling erfindungsgemäßer Polarisatoren, die gegebenenfalls als freitragende Komponenten ausgeführt sein können. Über die Wahl der axialen Dicke kann die Wirkungsweise des Polarisators an den Polarisationszustand des einfallenden Lich-

tes und die gewünschte Polarisationsverteilung des austretenden Lichtes angepaßt werden. Wird beispielsweise ein Gangunterschied von einem Viertel der Lichtwellenlänge eingestellt, so ist durch jeden der Bereiche eintretendes zirkular polarisiertes Licht im austretendes linear polarisiertes Licht umwandelbar. Über die Neigungsrichtung ist für jeden Bereich die Ausrichtung der Polarisationsvorzugsrichtung in der Austrittsebene einstellbar, beispielsweise in tangentialer oder radialer Richtung zur optischen Achse des Polarisators. Bei Einstellung eines Halbwellen-Gangunterschiedes ist eine lokale Drehung von einfallendem linear polarisiertem Licht in austretendes linear polarisiertes Licht möglich, welches wiederum durch geeignete lokale Einstellung der Neigungsrichtung in den Bereichen vorzugsweise in jeden Bereich radial oder tangential zur optischen Achse ausgerichtet ist.

[0013] Eine vorteilhafte Weiterbildung zeichnet sich dadurch aus, daß ein doppelbrechendes Element mit einer im wesentlichen parallel zur optischen Achse ausgerichteten Kristallachse vorgesehen ist und daß dem doppelbrechenden Element für jeden Bereich eine ablenkende Struktur zugeordnet ist, die das einfallende Licht so ablenkt, daß dieses mit dem für den Bereich vorgesehene Neigungswinkel und der Neigungsrichtung den Bereich durchdringt. Mit einem einzigen den Querschnitt des Polarisators füllenden doppelbrechenden Element ist somit ein unsegmentierter Polarisator mit einfachem Aufbau möglich, der besonders leicht herstellbar ist.

[0014] Um einen Lichtaustritt parallel zum Lichteintritt zu ermöglichen, sind vorzugsweise auf einer Eingangsseite des doppelbrechenden Elementes ablenkende Strukturen zur Ablenkung des einfallenden Lichtes in die windschiefe Durchtrittsrichtung und auf der Austrittsseite zugeordnete ablenkende Strukturen zur Rückgängigmachung der Ablenkung vorgesehen. Beispielsweise kann das doppelbrechende Element durch eine plamparallele Platte aus Magnesiumfluorid oder Quarzkristall gebildet sein, auf deren Eintrittsseite und/oder Austrittsseite die ablenkenden Strukturen in Form entsprechend strukturierter Oberflächenbereiche erzeugt sind. Auf diese Weise ist ein aus einem einzigen optisch wirksamen Element bestehender Polarisator möglich, der im wesentlichen die Form einer dünnen Platte hat und somit auch bei beschränktem Bauraum an geeigneter Stelle innerhalb einer Projektionsbelichtungsanlage eingebaut werden kann.

[0015] Die ablenkenden Strukturen jedes Bereiches dienen dazu, das in den Bereich einfallende Licht in die für diesen Bereich vorgesehene Durchtrittsrichtung umzulenken bzw. diese Umlenkung rückgängig zu machen. Es kann sich dabei um eine beugende Struktur, beispielsweise nach Art eines linearen Gitters, um eine brechende Struktur, beispielsweise nach Art einer Fresnel-Oberfläche, oder um eine Struktur handeln, bei der sowohl Lichtbeugung als auch Brechung zur Ablenkung beitragen, beispielsweise nach Art eines geblazeden Gitters. Auch holographische Strukturen sind möglich.

[0016] Zweckmäßig ist es, den beleuchteten Querschnitt in kleine Felder bzw. Bereiche konstanter Ablenkung aufzuteilen, beispielsweise in kleine Sechseck-Bereiche, die den gesamten beleuchteten Querschnitt des Polarisators mehr oder weniger lückenlos ausfüllen. Auch andere vorzugsweise vieleckige Bereichsformen, z. B. Quadrate oder Dreiecke sind möglich. Die Anzahl der Bereiche oder Felder liegt bevorzugt in der Größenordnung von 10 oder 100 oder darüber, so daß die Bereiche bevorzugt typische mittlere Querschnittsflächen von weniger als 10%, insbesondere zwischen 10% und 1% der Gesamtquerschnittsfläche haben. Die Größe der Bereiche kann dabei der für den Anwen-

dungsfall zulässigen Richtungstoleranz der lokal gewünschten Polarisationsvorzugsrichtung angepaßt werden. Diese liegt bei bevorzugten Ausführungsformen im Bereich von  $\pm 2\%$  oder darunter. Durch kleinere Bereichsgrößen kann 5 eine fast stufenlose Verteilung der gewünschten lokalen radialen oder tangentialen Polarisierung erzielt werden. Auch ein kontinuierlicher Übergang der Strukturen ohne definierte Bereichsgrenzen ist möglich. Ebenso ist es möglich, daß zwischen den wirksamen Bereichen kleine Lücken bleiben, die besonders bei Einsatz der Polarisatoren im Beleuchtungssystem tolerierbar sind.

[0017] Polarisatoren der beschriebenen Art sind besonders günstig herstellbar. Ausgangskristalle aus Siliciumdioxid oder Magnesiumfluorid zur Herstellung der doppelbrechenden Platte sind gerade in der benötigten Orientierung der Kristallachse auch in großen Abmessungen bis beispielsweise 20 oder 30 cm Durchmesser insbesondere für Siliciumdioxid verfügbar. Zur Herstellung eines Polarisators ist nur eine Platte zu bearbeiten, die aufgrund der typischen 15 Dicke von einigen zehntel Millimetern relativ unempfindlich und bei der Bearbeitung gut handhabbar ist. Die Herstellung der ablenkenden, d. h. diffraktiven und/oder refraktiven Strukturen auf den Plattenoberflächen kann mit Hilfe geeigneter lithographischer Prozesse erfolgen, so daß bei 20 großen Stückzahlen die Bereitstellungskosten niedrig bleiben können. Auch eine mechanische Strukturerzeugung ist 25 prinzipiell möglich.

[0018] Eine andere Klasse erfindungsgemäßer Polarisatoren 30 zeichnet sich dadurch aus, daß im Querschnitt des Polarisators mehrere doppelbrechende Elemente vorzugsweise flächenfüllend angeordnet sind, wobei bei jedem der doppelbrechenden Elemente die Kristallachse in der eingangs erwähnten Art windschief gegenüber der optischen Achse des Polarisators so gekippt ist, daß sich für den Bereich der 35 gewünschten Neigungswinkel und die Neigungsrichtung ergibt. Es handelt sich hier also um segmentierte Polarisatoren, deren Aufbau ähnlich sein kann wie derjenige, der in Fig. 1 der DE 195 35 392 gezeigten Ausführungsformen, jedoch mit dem Unterschied, daß bei erfindungsgemäßen Polarisatoren die Kristallachsen der Bereiche schräg zur optischen Achse und zur Plattenebene ausgerichtet sind.

[0019] Die Erfindung betrifft auch eine Mikrolithographie-Projektionsanlage, in die mindestens ein erfindungsgemäßer Polarisator eingebaut ist. Die Projektionsanlage hat 45 eine mit einer Lichtquelle, beispielsweise einem Laser, ausgestattete Beleuchtungseinrichtung zur Beleuchtung einer Maske und ein der Beleuchtungseinrichtung nachgeschalteter Projektionsobjektiv zur Abbildung des von der Maske getragenen Musters in die Bildebene des Projektionsobjektives, in der sich das zu strukturierende Element, beispielsweise ein mit Photoresist beschichteter Wafer, befindet. Durch die Integration eines oder mehrerer erfindungsgemäßer Polarisatoren lassen sich die Möglichkeiten der Optik voll ausnutzen. Beispielsweise ergibt die Verwendung eines 50 Polarisators zur Erzeugung von radialer Polarisierung eine Verbesserung der Homogenität und des Wirkungsgrades der Lichteinkopplung in die Resistsschicht, da die Reflexion am Resist, aber auch an allen nach dem Polarisator angeordneten Linsen, gleichmäßig reduziert wird. Für unter großen Winkeln (bis zum Brewster-Winkel) einfallendes Licht ist 55 der Effekt am stärksten gerade dort, wo die Lichtintensität aufgrund von Randabfall am geringsten ist. Die Störung der Auflösung durch Streulicht, auch an der Grenzschicht zwischen Resist und Wafer, sind homogenisiert und verringert.

[0020] Tangentiale Polarisierung kann dagegen bei antireflexbeschichtetem Resist und sehr hohen bildseitigen numerischen Aperturen vorteilhaft sein. Unter diesen Bedingungen wird der Interferenzkontrast bestimmend. Dieser ist op-

tinal, wenn eine Zweistrahlinterferenz von Strahlen mit senkrecht zur Einfallsbene orientierter Polarisation erfolgt. Es hat sich gezeigt, daß durch die tangentiale Polarisation eine erhebliche Kontrasterhöhung möglich ist.

[0021] Erfahrungsgemäß Polarisatoren werden vorzugsweise im Beleuchtungssystem, also zwischen der Lichtquelle und der durch diese beleuchteten Maske angeordnet. Eine Anordnung früh im Strahlengang ist besonders für radial polarisierende Polarisatoren vorteilhaft, um die Vorteile der Radialpolarisation bei der Einkopplung in nachfolgende Linsen nutzen zu können. Es ist auch zu berücksichtigen, daß asymmetrische optische Elemente, beispielsweise Umlenkspiegel, wie sie zur Kürzung der Baulänge von Beleuchtungssystemen oder in katadioptrischen Projektionsobjektiven vorgesehen sind, i. d. R. den Polarisationszustand ändern. Um eine möglichst störungsfreie "Durchschleusung" der am Ausgang des Polarisators vorherrschenden Polarisationsverteilung bis in die Bildebene des Projektionsobjektives zu gewährleisten, ist es daher vorteilhaft, den Polarisator in Lichtflußrichtung hinter dem letzten polarisierenden, nicht zur optischen Achse der Anlage symmetrischen Bauteil anzuordnen. Dieses kann bei Anlagen mit rein refraktiven Projektionsobjektiven der letzte Umlenkspiegel des Beleuchtungssystems sein, bei katadioptrischen Projektionsobjektiven auch der letzte Spiegel des Projektionsobjektivs. [0022] Besonders bevorzugt ist eine Anordnung des Polarisators innerhalb des Beleuchtungssystems in einer Ebene, die zur Blendenebene des Projektionsobjektives konjugiert ist. Dadurch kann Einfluß auf die Polarisationsverteilung im Bereich der Systemapertur des Projektionsobjektives genommen werden, ohne daß in diesem Bereich ein Polarisator eingebaut sein muß. Dies ist vorteilhaft, da der Polarisator die Anforderungen der Beleuchtung bezüglich Phase und Strahlablenkung leicht erfüllen kann, was im Projektionsobjektiv erheblich schwerer wäre. Eine volle Reproduktion des am Ausgang des Polarisators vorherrschenden Polarisationsverteilung ist jedoch, wie oben erwähnt, nur möglich, wenn sich hinter dem Polarisator keine die Polarisation wesentlich beeinflussenden Bauteile mehr befinden, oder wenn deren Einflüsse sich kompensieren.

[0023] Die günstige Anordnung von Polarisatoren an unkritischen Stellen innerhalb des Beleuchtungssystems erlaubt es auch, den Polarisator auswechselbar zu gestalten, so daß je nach Anwendungsfall durch Auswechseln geeigneter Polarisatoren z. B. zwischen zirkularer, radialer und tangentialem Polarisation im Waferbereich umgeschaltet werden kann.

[0024] Die vorstehenden und weitere Merkmale gehen außer aus den Ansprüchen auch aus der Beschreibung und den Zeichnungen hervor, wobei die einzelnen Merkmale jeweils für sich allein oder zu mehreren in Form von Unterkombinationen bei einer Ausführungsform der Erfindung und auf anderen Gebieten verwirklicht sein und vorteilhaft sowie für sich schutzfähige Ausführungen darstellen können. Es zeigen:

[0025] Fig. 1 einen schematischen Schnitt durch eine bevorzugte Ausführungsform eines erfahrungsgemäßen Polarisators mit ablenkenden Strukturen an Eingangsseite und Ausgangsseite;

[0026] Fig. 2 ein Diagramm zur Erläuterung der Funktionsweise des Polarisators in Fig. 1;

[0027] Fig. 3 eine Draufsicht auf den Polarisator von Fig. 1 mit einem Raster sechseckförmiger, ablenkender Bereiche zur Erzeugung von radial polarisiertem Licht aus zirkular polarisiertem Licht;

[0028] Fig. 4 die radialen Polarisationsrichtungen des aus dem Polarisator in Fig. 3 austretenden Lichtbündels;

[0029] Fig. 5 die ausgangsseitigen Polarisationsrichtun-

gen einer anderen Ausführungsform eines einstückigen Polarisators zur Erzeugung von tangential polarisiertem Licht; [0030] Fig. 6 eine schematische Ansicht einer Ausführungsform eines segmentierten Polarisators gemäß der Erfindung; und

[0031] Fig. 7 eine Mikrolithographie-Projektionsbelichtungsanlage mit einem erfahrungsgemäßen Polarisator im Beleuchtungssystem.

[0032] In Fig. 1 ist eine bevorzugte Ausführungsform eines erfahrungsgemäßen Polarisators 1 zur Umwandlung von einfallendem zirkular polarisiertem Licht 2 in austretendes, radial polarisiertes Licht 3 gezeigt. Das Herzstück des Radialpolarisators ist eine planparallele Platte 4 aus einem anisotropen, optisch einachsigen Kristall, dessen Kristallachse 5 im wesentlichen senkrecht zu den planparallelen Plattenoberflächen 6, 7 steht. Das Material der Platte ist für Licht der vorgesehenen Arbeitswellenlänge transparent, wobei bevorzugte Arbeitswellenlängen im UV-Bereich mit Wellenlängen unterhalb ca. 260 nm liegen. Die einstückige Platte 4 kann z. B. für Licht mit 157 nm Wellenlänge aus Magnesiumfluorid und für Licht mit 193 nm Wellenlänge aus Magnesiumfluorid oder Quarz (Siliziumdioxid) bestehen. Die Platte 4 wird in den Strahlengang der zu beeinflussenden Strahlung so eingebaut, daß die Kristallachse 5 parallel, bzw. die Plattenflächen 6, 7 senkrecht zur optischen Achse des Systems stehen. Die axiale Dicke D der Platte liegt typischerweise in der Größenordnung mehrer Zehntel Millimeter und kann gegebenenfalls so groß sein, beispielsweise um ca. 0,5 mm-3 mm, daß die Platte selbsttragend eingebaut werden kann. Es ist auch möglich, zur Unterstützung der Platte einen Träger aus isotropem Material, beispielsweise Quarzglas oder Calciumfluorid, vorzusehen, auf dem die Platte in Gebrauchslage unter Eigengewicht aufliegt.

[0033] Auf der Eintrittsseite 6 und der Austrittsseite 7 der Platte sind einander zugeordnete, ablenkende Strukturen 8, 9 mit aufeinander abgestimmten Ablenkeigenschaften ausgebildet. Im Beispielsfall liegen die ablenkenden Strukturen in Form von Sechseckbereichen gleicher Größe vor, die die gesamte Eintrittsseite 6 bzw. Austrittsseite 7 flächenfüllend bedecken. In jedem Sechseckbereich ist eine nach Art eines linearen Beugungsgitters wirkende ablenkende Struktur vorgesehen, wobei sich die Ausrichtungen der parallelen Gitterlinien zwischen benachbarten Bereichen 10, 11 i. d. R. um einige Winkelgrade unterscheiden.

[0034] Anhand der einander zugeordneten, seitlich leicht gegeneinander versetzten diffraktiven Strukturen 10 (auf der Oberseite 6) und 12 (auf der Unterseite 7) wird nun die Wirkungsweise des Polarisators näher erläutert. Das parallel zur optischen Achse des Systems einfallende Licht 2 trifft an der Eingangsseite 6 auf die ablenkende Struktur 10. Dieses Transmissionsgitter lenkt die Strahlung durch Beugung so ab, daß die Durchtrittsrichtung 13 der ersten Beugungsordnung innerhalb der Kristallplatte 4 windschief zur Kristallachse 5 verläuft. Als windschief wird hier jede Durchtrittsrichtung bezeichnet, die weder parallel, noch senkrecht zur Kristallachse 5 steht. Solche Durchtrittsrichtungen sind durch einen Neigungswinkel NW von mehr als 0° und weniger als 90° gekennzeichnet. Die diffraktive Struktur 12 an der Ausgangsseite 7 macht aufgrund der gleichen Gitterkonstante wie die Eingangsstruktur 10 diese Ablenkung wieder rückgängig, so daß das austretende Licht 3 parallel versetzt zum entsprechenden einfallenden Licht parallel zur optischen Achse des Systems austritt. Diese Verhältnisse sind in Fig. 1 stark übertrieben gezeichnet. Die Richtung der Kristallachse 5 und die Durchtrittsrichtung 13 spannen eine die Neigungsrichtung definierende Durchtrittsebene auf, deren Schnittlinie 14 mit der Eintrittsseite 6 der Platte senkrecht zu

der Ausgangsseite 7 macht aufgrund der gleichen Gitterkonstante wie die Eingangsstruktur 10 diese Ablenkung wieder rückgängig, so daß das austretende Licht 3 parallel versetzt zum entsprechenden einfallenden Licht parallel zur optischen Achse des Systems austritt. Diese Verhältnisse sind in Fig. 1 stark übertrieben gezeichnet. Die Richtung der Kristallachse 5 und die Durchtrittsrichtung 13 spannen eine die Neigungsrichtung definierende Durchtrittsebene auf, deren Schnittlinie 14 mit der Eintrittsseite 6 der Platte senkrecht zu

den Linien der ablenkenden Gitterstruktur 10 verläuft. Die vom Licht innerhalb des Kristalls in Durchtrittsrichtung 13 zurückgelegte Weglänge W ist gemäß  $W = D/\cos(\text{NW})$  von der Plattendicke D und dem Neigungswinkel NW abhängig. [0035] Aufgrund der doppelbrechenden Eigenschaften des Plattenmaterials breitet sich innerhalb der Platte 4 eine Lichtwelle mit zwei orthogonalen Schwingungsrichtungen aus, d. h. in Form von senkrecht zueinander polarisierten Feldkomponenten, wobei die Schwingungsrichtung 15 der einen Komponente in der Durchtrittsebene und die Schwingungsrichtung 16 der anderen Komponente senkrecht zur Durchtrittsebene verläuft. Für die Zwecke dieser Anmeldung wird die in der Durchtrittsebene schwingende Komponente 15 als ordentlicher Strahl (Index o) und die senkrecht dazu schwingende Komponente 16 als außerordentlicher Strahl (Index ao) bezeichnet. Für diese beiden Komponenten gelten bei doppelbrechenden Materialien im allgemeinen in Abhängigkeit von der Durchtrittsrichtung unterschiedliche Brechzahlen  $n_o$  für den ordentlichen und  $n_{ao}$  für den außerordentlichen Strahl. Deren Verhältnis ist in Fig. 2 schematisch für den Fall eines negativ doppelbrechenden Kristalls gezeigt. Wie allgemein bekannt, ist die Brechzahl  $n_o$  in allen Richtungen gleich, während sich die Brechzahl  $n_{ao}$  in Abhängigkeit vom Winkel NW zur Kristallachse 5 ändert. In Richtung der optischen Achse 5 verschwindet diese Aufspaltung ( $n_{ao} = n_o$ ), während senkrecht dazu die Betragsdifferenz  $\Delta n = |n_{ao} - n_o|$  maximal wird ( $\Delta n_{\max}$ ). Wie aus der Theorie der Verzögerungsplatten bekannt, verlassen die beiden senkrecht zueinander polarisierten Feldkomponenten das doppelbrechende Material ohne Richtungsdifferenz, aber mit einem Gangunterschied G, gemäß  $G = W \times \ln_{ao} - \ln_o$ .

[0036] Eine Besonderheit des Polarisators besteht nun darin, daß durch die Dimensionierung bzw. Auslegung der ablenkenden Strukturen der Neigungswinkel NW in gewissen Grenzen einstellbar ist, wobei der Neigungswinkel bei der gezeigten Lineargitterstruktur zunimmt, je geringer die Gitterkonstante (Abstand benachbarter Gitterlinien senkrecht zum Linienvorlauf) ist. Anhand von Fig. 2 ist erkennbar, daß im Bereich kleiner Neigungswinkel, wenn also die Durchtrittsrichtung 13 in sehr spitzem Winkel zur Kristallachse 5 steht, die Brechzahldifferenz  $\Delta n$  sehr kleine Werte annehmen kann, die nur einen Bruchteil der maximalen Brechzahldifferenz  $\Delta n_{\max}$  betragen, welche bei einem rechten Winkel zwischen Lichtausbreitungsrichtung 13 und Kristallachse 5 auftreten würde. Die durch die Erfindung geschaffene Möglichkeit der Einstellung sehr kleiner Brechzahldifferenzen (bei gegebenem Plattenmaterial) führt dazu, daß die für einen gewünschten Gangunterschied G der Polarisationskomponenten am Ausgang des Polarisators erforderliche Plattendicke D bei erfindungsgemäßen Polarisatoren um ein Vielfaches höher sein kann als bei herkömmlichen Verzögerungsplatten, bei denen die Einfallsrichtung des Lichtes senkrecht auf der Kristallachse steht. Durch die Erfindung können also unbedeckt geringe Dicken von Polarisatoren vermieden werden, was sich besonders beim bevorzugten Einsatz großer Querschnitte vorteilhaft auswirkt.

[0037] Bei der in Fig. 1 gezeigten Ausführungsform sind die Plattendicke D und der Neigungswinkel NW (durch geeignete Gitterkonstanten der ablenkenden Gitter) so gewählt, daß sich entlang des Weges W zwischen den Feldkomponenten 15; 16 des durchtretenden Lichtes ein Gangunterschied G von einem Viertel der Wellenlänge des eintretenden Lichtes 2 ergibt. Dadurch wird, in Analogie zu einer Viertelwellenplatte, eintretendes zirkular polarisiertes Licht in austretendes linear polarisiertes Licht umgewandelt. Bei einer anderen Ausführungsform sind der Neigungswinkel NW und die Plattendicke D so aufeinander abgestimmt, daß

sich zwischen den Polarisationskomponenten ein Halbwellen-Gangunterschied analog einer Halbwellenplatte einstellt. Derartige Polarisatoren sind dazu geeignet, eine Drehung der Polarisationsebene von einfallendem linear polarisiertem Licht zu bewirken.

[0038] Die Orientierung der Polarisationsvorzugsrichtung jedes Bereiches nach Austritt aus der Polarisatorplatte ist für jeden Bereich durch die Orientierung der ablenkenden Strukturen beeinflußbar. Deren Orientierung legt für jeden Bereich, also lokal, die Orientierung der Durchtrittsebene fest, und damit auch die Orientierung der Schwingungsrichtungen 15, 16 der senkrecht zueinander polarisierten Feldkomponenten. Diese Richtungen 15, 16 werden auch als induzierte Kristallachsen bezeichnet.

[0039] Die windschiefe Ablenkung erfindungsgemäßer Polarisatoren kann dazu genutzt werden, in einem Schritt aus einfallendem Licht 2 austretendes Licht 3 zu erzeugen, das für jeden Bereich, d. h. lokal, tangential oder radial polarisiert ist. Die windschiefe Ablenkung muß im Fall des zirkularen Eingangs unter 45° geschehen, so daß die induzierten Kristallachsen 15, 16 lokal auch unter einem Winkel von 45° zur gewünschten ausgangsseitigen radialen (oder tangentialen) Orientierung stehen. Dies wird anhand Fig. 3 näher erläutert, welche eine Draufsicht auf den Polarisator von Fig. 1 zeigt. Für einige ausgewählte, sechseckförmige Facetten bzw. Bereiche 20, 21, 22 sind jeweils die Orientierung der Gitterlinien der ablenkenden Struktur, die dadurch festgelegte Orientierung der Durchtrittsebene (veranschaulicht durch die Schnittlinie 14 zwischen Durchtrittsebene und Plattenoberseite 6) und die dementsprechende Orientierung der induzierten Kristallachsen (Pfeile) gezeigt. Weiterhin ist für jede der Facetten der der Facette zugeordnete Radius 23, 24, 25 von der optischen Achse 26 des Polarisators durch die Flächenmitte des jeweiligen Bereiches gezeigt.

[0040] Da für eine ausgangsseitige Radialpolarisation die induzierten Kristallachsen 15, 16 jeweils lokal unter 45° zur bereichsspezifischen Radialrichtung stehen müssen, stehen auch die Durchtrittsebenen in den Bereichen sowie die Linien der beugenden Strukturen jeweils im Winkel von 45° zur Radialrichtung. Damit bewirkt jede Viertelwellenplatten-Facette eine Umwandlung des eintretenden zirkular polarisierten Lichtes in austretendes linear polarisiertes Licht, dessen Polarisationsrichtung im Bereich der Facettenmitte genau in Radialrichtung verläuft (Fig. 4). Es ist zu erkennen, daß die für die Ablenkung verantwortlichen, beugenden Strukturen von der Mitte 26 des Polarisators nach Art von Turbinenschaufeln geschwungen nach außen laufen, allerdings nicht ununterbrochen, weil jeweils Felder bzw. Bereiche endlicher Größe mit konstanter Ablenkung gebildet sind. Über die Größe der Bereiche kann die für den jeweiligen Anwendungsfall maximal zulässige Richtungstoleranz, d. h. die Abweichung der lokalen Polarisation von der gewünschten durchgängig radialen Polarisation eingestellt werden.

[0041] Auch ein kontinuierlicher Übergang zwischen lokalen Orientierungen ohne festgelegte Bereichsgrenzen ist möglich.

[0042] Das anhand eines Ausführungsbeispiels erläuterte Prinzip der Erfindung ist bei Polarisatoren für andere Fälle ohne weiteres ebenfalls anwendbar. So ist beispielsweise ein Polarisator zur Umwandlung von einfallendem zirkular polarisiertem Licht in austretendes tangential polarisiertes Licht ausgehend von der in Fig. 3 gezeigten Struktur dadurch zu erreichen, daß die Gitterlinien der ablenkenden Strukturen in jedem Bereich um 90° in Bezug auf die Kristallachsenrichtung gedreht werden. Dann liegt jeweils am Ausgang eines Bereiches Licht mit tangentialer Polarisation vor, wie es in Fig. 5 gezeigt ist.

[0043] Das Prinzip ist auch nutzbar, um aus einfallendem Licht, das über seinen gesamten Querschnitt in einer Richtung linear polarisiert ist, durch lokale Drehung der Polarisationsebene ausfallendes linear polarisiertes Licht zu erzeugen, welches für jeden Bereich eine gewünschte Polarisationsrichtung hat, beispielsweise die in Fig. 4 gezeigte Radialpolarisation oder die in Fig. 5 gezeigte tangentielle Polarisierung. Hierzu ist zunächst die Plattendicke D in Abstimmung mit dem Neigungswinkel NW so zu wählen, daß sich über die durchlaufende Weglänge W bei der vom Neigungswinkel abhängigen Brechzahlendifferenz der gewünschte Gangunterschied einer halben Wellenlänge einstellt. Darüber hinaus sind die ablenkenden Strukturen in jedem Bereich so auszurichten, daß eine induzierte Kristallachse lokal genau auf der Winkelhalbierenden zwischen der Polarisationsrichtung des einfallenden Lichtes und der gewünschten Polarisationsrichtung (beispielsweise tangential oder radial) liegt. Bei Halbwellen platten ergibt sich bekanntlich die Polarisationsrichtung des austretenden Lichtes durch Spiegelung der Richtung des eintretenden Lichtes an einer den induzierten Kristallachsen. Für die erwähnten Gangunterschiede können sich abhängig von der Plattendicke und der Winkelvariation des eintretenden Lichts Verzögerungsdifferenzen ergeben, die bei bevorzugten Ausführungsformen im Bereich von  $\pm(5-10)\%$  um den gewünschten Viertel- oder Halbwellengangunterschied liegen können.

[0044] In Fig. 6 ist ein Beispiel einer anderen Ausführungsform eines erfundungsgemäßen Polarisators gezeigt. Der Polarisator 30 hat ebenfalls die Form einer planparallelen Platte mit axialer Dicke D, besteht jedoch im Unterschied zur Ausführungsform gemäß Fig. 1 aus mehreren untereinander z. B. durch Ansprengen verbundenen, doppelbrechenden optischen Elementen 31 bis 34 mit jeweils regelmäßig sechseckförmigem Querschnitt, die derart lückenlos aneinandergesetzt sind, daß sie einen insgesamt plattenförmigen Polarisator bilden. Die Größe der dadurch gebildeten Sechseckbereiche 35 bis 38 kann derjenigen, der in Fig. 1 gezeigten Sechseckbereiche entsprechen. Die optischen Elemente 31 bis 34 sind jeweils so aus einem Block aus doppelbrechendem Material herausgeschnitten, daß die Kristallachse 39, 40, 41 jeweils windschief zu den Seitenflächen bzw. Stirnflächen der Sechseckelemente steht. Dabei ist bei jedem Element der Neigungswinkel NW zwischen der Richtung der Kristallachse und der optischen Achse 42 des Polarisators gleich. Jedoch unterscheiden sich benachbarte optische Elemente im gezeigten Bereich dadurch, daß die kristallographischen Achsen der optischen Elemente jeweils unterschiedliche Drehpositionen um die optische Achse 42 einnehmen. Das bedeutet, daß die im allgemeinen kristallographischen Achsen der optischen Elemente, mit Ausnahme einiger Bereiche, nicht parallel zueinander verlaufen, sondern um die optische Achse 42 gegeneinander verdreht sind. Dies bewirkt, daß bei parallel zur optischen Achse 42 in Durchtrittsrichtung 43 durchtretendem Licht in jedem optischen Element eine andere Orientierung der Durchtrittsebene (aufgespannt durch Durchtrittsrichtung 43 und Kristallachse) auftritt. Dies wird durch die entsprechenden Schnittlinien 44 bis 46 der in den optischen Elementen 32, 33, 34 vorliegenden Durchtrittsebenen schematisch verdeutlicht.

[0045] Der Polarisator arbeitet analog zur oben beschriebenen Ausführungsform nach dem Prinzip einer Verzögerungsplatte. Das einfallende Licht wird bei Eintritt in den Polarisator in einen ordentlichen und einen außerordentlichen Strahl zerlegt, die sich entsprechend der jeweils für sie geltenden Brechzahl mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten ausbreiten, was zu einem Gangunterschied  $G = W \times n_{d0} - n_0$  führt. Die durchlaufende Wegstrecke W entspricht

der Plattendicke D, während sich die Brechzahlendifferenz gemäß Fig. 2 aus dem Neigungswinkel NW ergibt, der beim Schneiden der optischen Elemente aus einem größeren Kristallblock festgelegt wird. Wie bei Ausführungsform gemäß 5 Fig. 1 kann die Plattendicke D durch Wahl kleiner Neigungswinkel NW (und entsprechend geringer Brechzahlendifferenzen) so groß werden, daß eine Platte mit gut handhabbarer Dicke geschaffen wird. Soll zirkular polarisiertes Licht in bereichsweise linear polarisiertes Licht umgewandelt werden, so wird die Dicke D so eingestellt, daß der Gangunterschied einer Viertelwellenlänge des Lichtes entspricht, zur Drehung der Polarisationsebene von linear polarisiertem Licht wird der Gangunterschied auf eine halbe Wellenlänge eingestellt. Die Orientierung des austretenden, 10 linear polarisierten Lichtes wird für jeden Bereich durch die Orientierung der Durchtrittsebenen festgelegt. Diese können in Analogie zur Darstellung in Fig. 3 liegen, um einen Radialpolarisator zu erzeugen oder um  $90^\circ$  verdreht, um einen Tangentialpolarisator zu erzeugen. Ein Vorteil dieser Ausführungsform besteht vor allem darin, daß auf eine gegebenenfalls komplizierte Herstellung ablenkender Strukturen verzichtet werden kann.

[0046] In Fig. 7 ist eine mikrolithographische Projektionsbelichtungsanlage 50 gezeigt, die mit einem erfundungsgemäßen Polarisator ausgestattet ist. Die Anlage, bei der es sich um einen Waferscanner handelt, umfaßt eine Laserlichtquelle 51 mit einer Einrichtung 52 zur Einengung der Bandbreite des Lasers, welcher linear polarisiertes Licht aussendet. Ein Beleuchtungssystem 53 erzeugt ein großes, 25 scharf begrenztes und sehr homogen beleuchtetes Bildfeld, das an die Telezentritätserfordernisse des nachgeschalteten Projektionsobjektives 54 angepaßt ist. Das Beleuchtungssystem 53 hat Einrichtungen zur Auswahl des Beleuchtungsmodus und ist beispielsweise zwischen konventioneller Beleuchtung mit variablem Kohärenzgrad, Ringfeldbeleuchtung und Dipol- oder Quadropolbeleuchtung umschaltbar. Zur Verringerung der Baulänge des Systems umfaßt das Beleuchtungssystem einen Umlenkspiegel 55. Hinter dem Beleuchtungssystem ist eine Einrichtung 56 30 zum Halten und Manipulieren einer Maske 57 so angeordnet, daß diese in einer Bildebene 58 des Projektionsobjektives 54 liegt und mittels eines Scannantriebes in dieser Ebene bewegbar ist. Das Projektionsobjektiv 54 ist als rotationsymmetrisches, rein refraktives Reduktionsobjektiv ausgelegt, das ein Bild der Maske in reduziertem Maßstab auf einen mit einer Photoresistorschicht belegten Wafer 59 abbildet, der in der Bildebene 60 des Objektivs 54 angeordnet ist und durch eine Einrichtung 61 gehalten wird, die einen Scannantrieb umfaßt, um den Wafer synchron mit der Maske 57 zu bewegen. Alle Systeme werden von einer Steuereinheit 62 gesteuert.

[0047] Im Beleuchtungssystem 53 ist hinter dem Umlenkspiegel 55 ein erfundungsgemäßer Polarisator 63 in den Strahlengang eingesetzt. Er kann als einstückige Platte gemäß Ausführungsform Fig. 1 oder als segmentierter Polarisator gemäß Fig. 6 ausgelegt sein. Seine axiale Dicke ist so bemessen, daß er nach Art einer Halbwellenplatte wirkt und aus dem eintretenden, über den gesamten Querschnitt in einer Orientierung linear polarisierten Licht austretendes 60 Licht mit radialer Polarisierung (entsprechend Fig. 3) erzeugt. Diese radiale Polarisierung liegt in der Maskenebene 58 vor und wird bis in die Bildebene 60 "durchgeschleust", da sich hinter dem Polarisator keine die Polarisierung des Lichtes beeinflussenden Elemente, wie Spiegel o. dgl. befinden. Insbesondere bei hohen numerischen Aperturen wirkt sich die Radialpolarisation günstig auf die Transmission der beschichteten Linsen des Projektionsobjektives 54 aus, was die Bildintensität am Lichtaustritt und damit den Wafer-

durchsatz erhöht. Der Polarisator 63 ist entlang der optischen Achse 64 des Systems so angeordnet, daß er in einer Ebene liegt, die konjugiert zur Ebene der Systemblende 65 des Projektionsobjektives liegt. Dadurch kann eine lineare Polarisation als Funktion des Pupillenortes im Bereich der Systemblende erzeugt werden, ohne daß in diesem Bereich ein zusätzliches optisches Element eingebracht werden muß, was aufgrund begrenzten Bauraumes bei vielen Hochleistungsobjektiven nur schwierig oder überhaupt nicht möglich ist.

## Patentansprüche

1. Polarisator zur Umwandlung eines entlang einer optischen Achse eintretenden Lichtbündels in ein austretendes Lichtbündel, welches über seinen Querschnitt eine vorgegebene Verteilung lokal unterschiedlicher Polarisationszustände aufweist, der Polarisator mit folgenden Merkmalen:

Zur Erzeugung einer Phasenverzögerung zwischen senkrecht zueinander polarisierten Feldkomponenten des durchtretenden Lichts ist mindestens ein doppelbrechendes Element (4, 31 bis 34) vorgesehen, das eine Kristallachse (5, 39, 40, 41) und eine axiale Dicke (D) hat;

Der beleuchtete Querschnitt des Polarisators ist in eine Vielzahl von Bereichen (10, 11, 12, 20, 21, 22, 35 bis 38) aufgeteilt;

Mindestens einer der Bereiche ist so ausgebildet, daß die Durchtrittsrichtung (13, 43) des Lichtes in dem Bereich windschief zur Richtung der Kristallachse (5, 39, 40, 41) des Bereichs verläuft und in einer durch die Durchtrittsrichtung und die Richtung der Kristallachse aufgespannten Durchtrittsebene liegt;

wobei für den Bereich die axiale Dicke (D) und der Neigungswinkel (NW) derart aneinander angepaßt sind, daß eine optische Weglängendifferenz der Feldkomponenten in dem Bereich nach Durchtritt durch den Polarisator einem vorgegebenen Gangunterschied entspricht und die Orientierung der Durchtrittsebene (13, 43) für jeden Bereich (35 bis 38) so eingestellt ist, daß sich die für diesen Bereich lokal gewünschte Polarisationsvorzugsrichtung ergibt.

2. Polarisator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß jeder der Bereiche (10, 11, 12, 20, 21, 22, 35 bis 38) in der beschriebenen Weise ausgebildet ist.

3. Polarisator nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein doppelbrechendes Element (4) mit einer im wesentlichen parallel zur optischen Achse ausgerichteten Kristallachse (5) vorgesehen ist und daß dem doppelbrechenden Element für mindestens einen, vorzugsweise jeden Bereich eine ablenkende Struktur (8) zugeordnet ist, die zur Erzeugung des für den Bereich vorgesehenen Neigungswinkel und der Neigungsrichtung ausgebildet ist, wobei vorzugsweise ein einziges den Querschnitt des Polarisators füllendes doppelbrechendes Element (4) vorgesehen ist.

4. Polarisator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß auf einer Eintrittsseite (6) des doppelbrechenden Elementes (4) ablenkende Strukturen (8) zur Ablenkung des einfallenden Lichtes (2) in die windschiefe Durchtrittsrichtung (13) und auf der Austrittsseite (7) zugeordnete ablenkende Strukturen (9) zur Rückgängigmachung der Ablenkung vorgesehen sind.

5. Polarisator nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß das doppelbrechende Element eine Platte (4) aus doppelbrechendem Material ist, insbe-

sondere aus Magnesiumfluorid oder Quarzkristall, wobei vorzugsweise die ablenkenden Strukturen (8, 9) direkt auf der Eintrittsseite (6) und/oder der Austrittsseite (7) der Platte ausgebildet sind.

6. Polarisator nach einem der Ansprüche 3 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine ablenkende Struktur (8, 9) eine beugende Struktur ist, insbesondere ein lineares Gitter.

7. Polarisator nach einem der Ansprüche 3 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine ablenkende Struktur eine brechende Struktur ist, insbesondere nach Art einer Fresnell-Oberfläche.

8. Polarisator nach einem der Ansprüche 3 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine ablenkende Struktur eine beugende und brechende Struktur ist und/oder dass mindestens eine ablenkende Struktur nach Art eines Hologramms ablenkt.

9. Polarisator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß im Querschnitt des Polarisators (30) mehrere doppelbrechende Elemente (31 bis 34) vorzugsweise flächenfüllend angeordnet sind, jedes der Elemente einen Bereich bildet und eine axiale Dicke (D) hat und bei jedem der doppelbrechenden Elemente die Kristallachse (39, 40, 41) derart windschief gegenüber der Durchtrittsrichtung (43) des Lichts gekippt ist, daß die Kristallachse mit der Durchtrittsrichtung die Durchtrittsebene aufspannt.

10. Polarisator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Polarisator (1, 30) zu Umwandlung von eintretendem zirkular polarisierten Licht in austretendes, bereichsweise linear polarisiertes Licht ausgebildet ist, wobei das austretende Licht vorzugsweise tangential oder radial polarisiert ist.

11. Polarisator nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß der vorbestimmte Gangunterschied (G) im wesentlichen einem Viertel der Wellenlänge des eintretenden Lichts entspricht.

12. Polarisator nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Polarisator (1, 30) zur Umwandlung von eintretendem, über seinen gesamten Querschnitt in einer Richtung linear polarisiertem Licht in austretendes, bereichsweise linear polarisiertes Licht ausgebildet ist, wobei das austretende Licht vorzugsweise tangential oder radial polarisiert ist.

13. Polarisator nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß der vorbestimmte Gangunterschied (G) im wesentlichen einer halben Wellenlänge des eintretenden Lichts entspricht.

14. Polarisator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Polarisator (1, 30) insbesondere die Platte (4), eine axiale Dicke (D) von mehr als 100 µm aufweist, wobei die axiale Dicke vorzugsweise zwischen ca. 200 µm und ca. 600 µm liegt.

15. Polarisator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sein Querschnitt in kleine Bereiche (10, 11, 12, 20, 21, 22, 35 bis 38) konstanter Ablenkung und/oder gleichen Neigungswinkels (NW) aufgeteilt ist, die den gesamten beleuchteten Querschnitt des Polarisators vorzugsweise lückenlos ausfüllen, wobei die Bereiche vorzugsweise eine vieleckige, insbesondere sechseckige Form haben.

16. Polarisator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sein Querschnitt in kleine Bereiche (10, 11, 12, 20, 21, 22, 35 bis 38), vorzugsweise mit gleicher Größe und/oder Form aufgeteilt ist, wobei die Anzahl der Bereiche in der Grö-

Benordnung von 10 oder 100 oder darüber liegt.

17. Polarisator nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß er in eine optische Einrichtung, insbesondere in eine Beleuchtungseinrichtung (53), einer Mikrolithographie-Projektionsanlage (50) eingebaut ist, wobei der Polarisator (63) vorzugsweise auswechselbar ist. 5

18. Mikrolithographie-Projektionsanlage mit einer Lichtquelle (51) umfassenden Beleuchtungseinrichtung (53) zur Beleuchtung einer Maske (57) sowie mit einer der Beleuchtungseinrichtung (53) nachgeschalteten Projektionsobjektiv (54) zur Abbildung eines von der Maske (57) getragenen Musters in eine Bildebene (60) des Projektionsobjektives, dadurch gekennzeichnet, daß in die Projektionsanlage (50) mindestens ein Polarisator (1, 30, 63) gemäß einem der Ansprüche 1 bis 17 eingebaut ist. 10 15

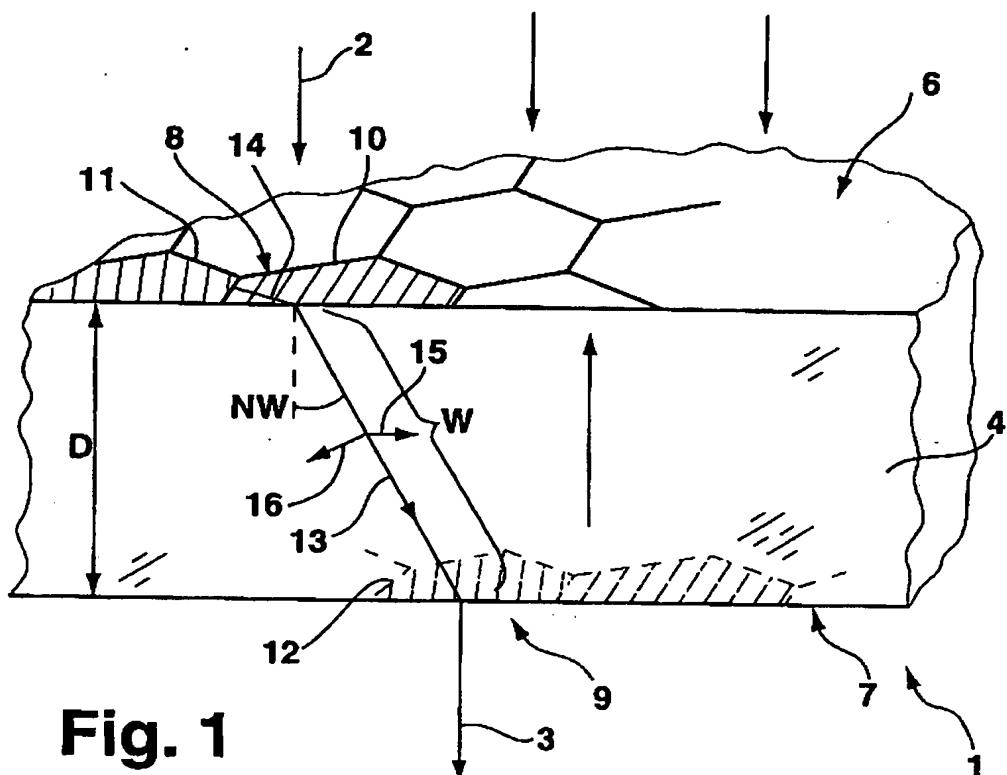
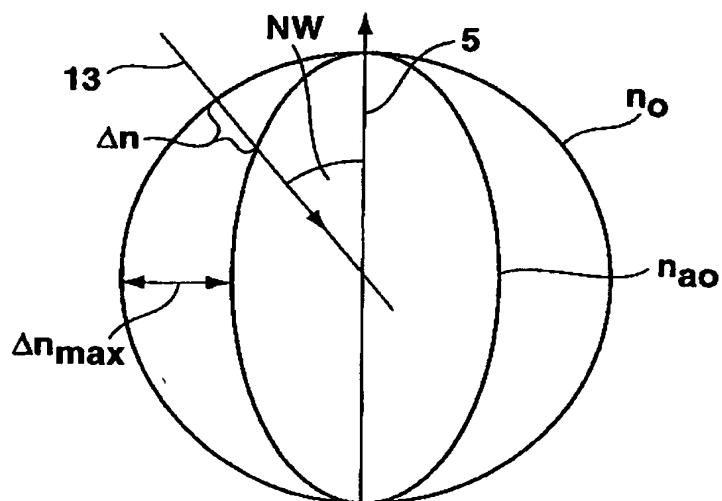
19. Mikrolithographie-Projektionsanlage nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß der Polarisator (63) zwischen der Lichtquelle (51) und der Maske (57) 20 in der Beleuchtungseinrichtung (53) eingebaut ist, vorzugsweise im Bereich einer Ebene, die zu einer Systemblende (65) des Projektionsobjektivs (54) konjugiert ist.

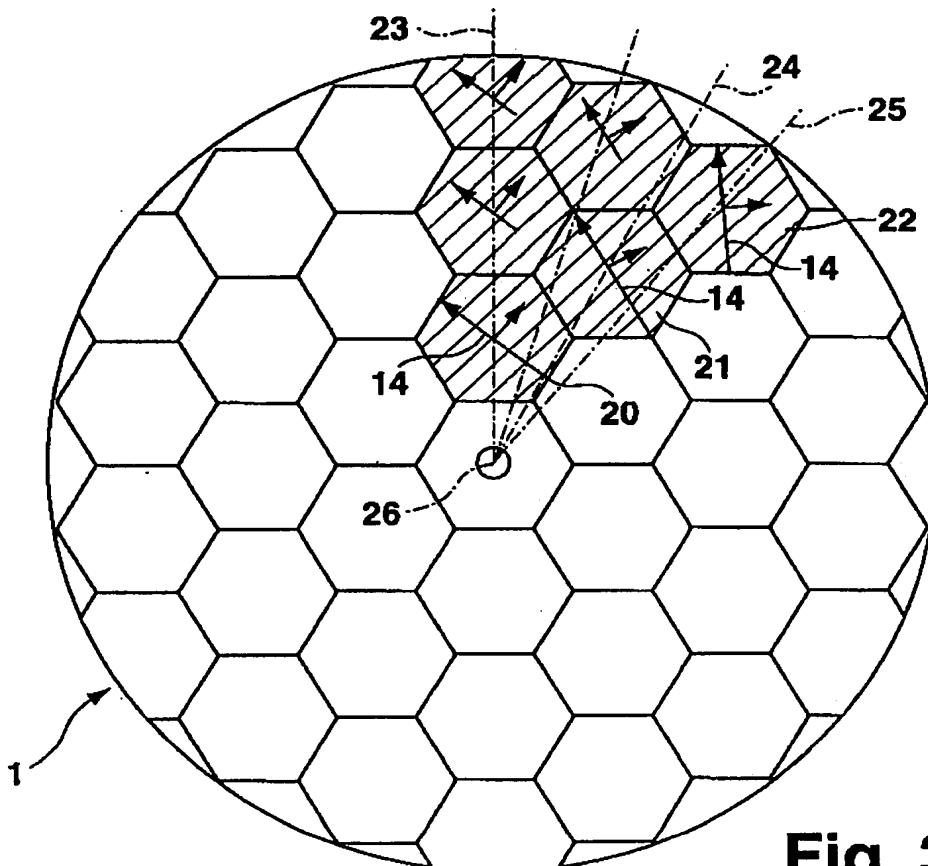
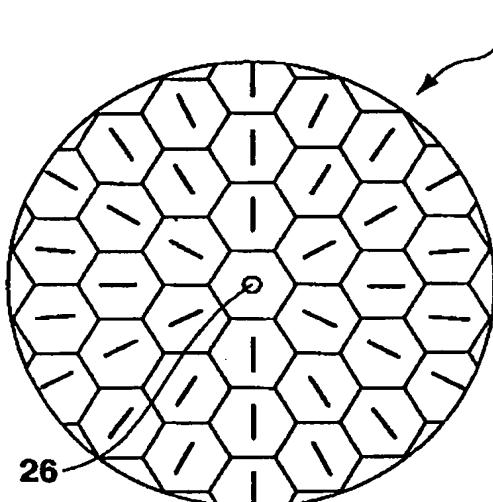
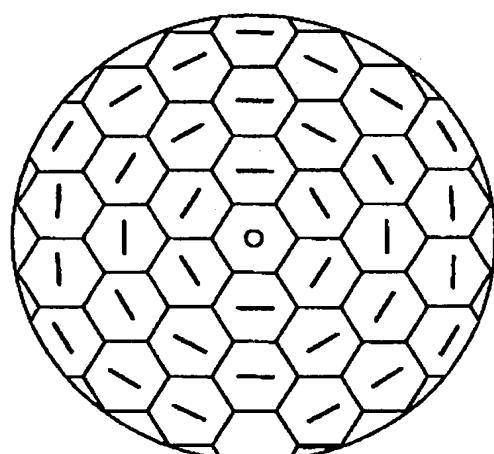
20. Projektionsbelichtungsanlage nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Polarisator (63) in Lichtflußrichtung hinter dem letzten polarisierenden optischen Element, insbesondere hinter einem letzten Umlenkspiegel (55), angeordnet ist. 25

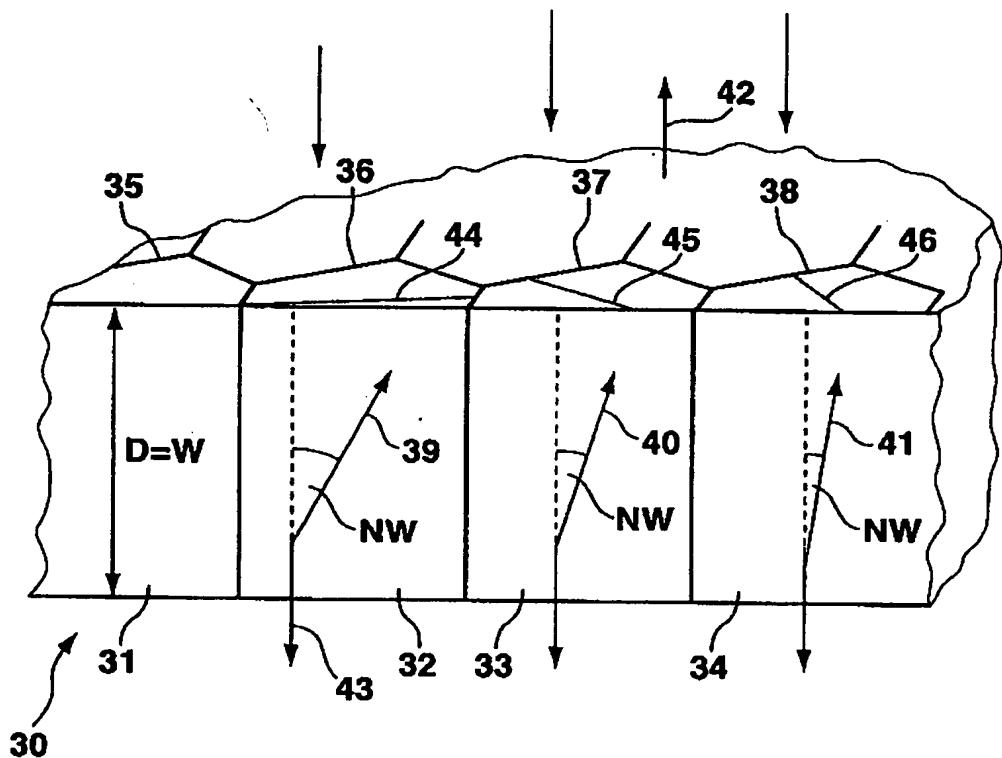
21. Verfahren zur Herstellung von Halbleiterbauelementen und anderen feinstrukturierten Bauteilen mit folgenden Schritten: 30

- Bereitstellung einer Maske mit einem vorgegebenen Muster;
- Beleuchtung der Maske mit Ultravioletlicht einer vorgegebenen Wellenlänge mit Hilfe einer Beleuchtungseinrichtung, die mindestens einen Polarisator nach einem der Ansprüche 1–17 enthält; 35
- Projektion eines Bildes des Musters auf ein im Bereich der Bildebene eines Projektionsobjektives angeordnetes lichtempfindliches Substrat. 40

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

**Fig. 1****Fig. 2**

**Fig. 3****Fig. 4****Fig. 5**

**Fig. 6**

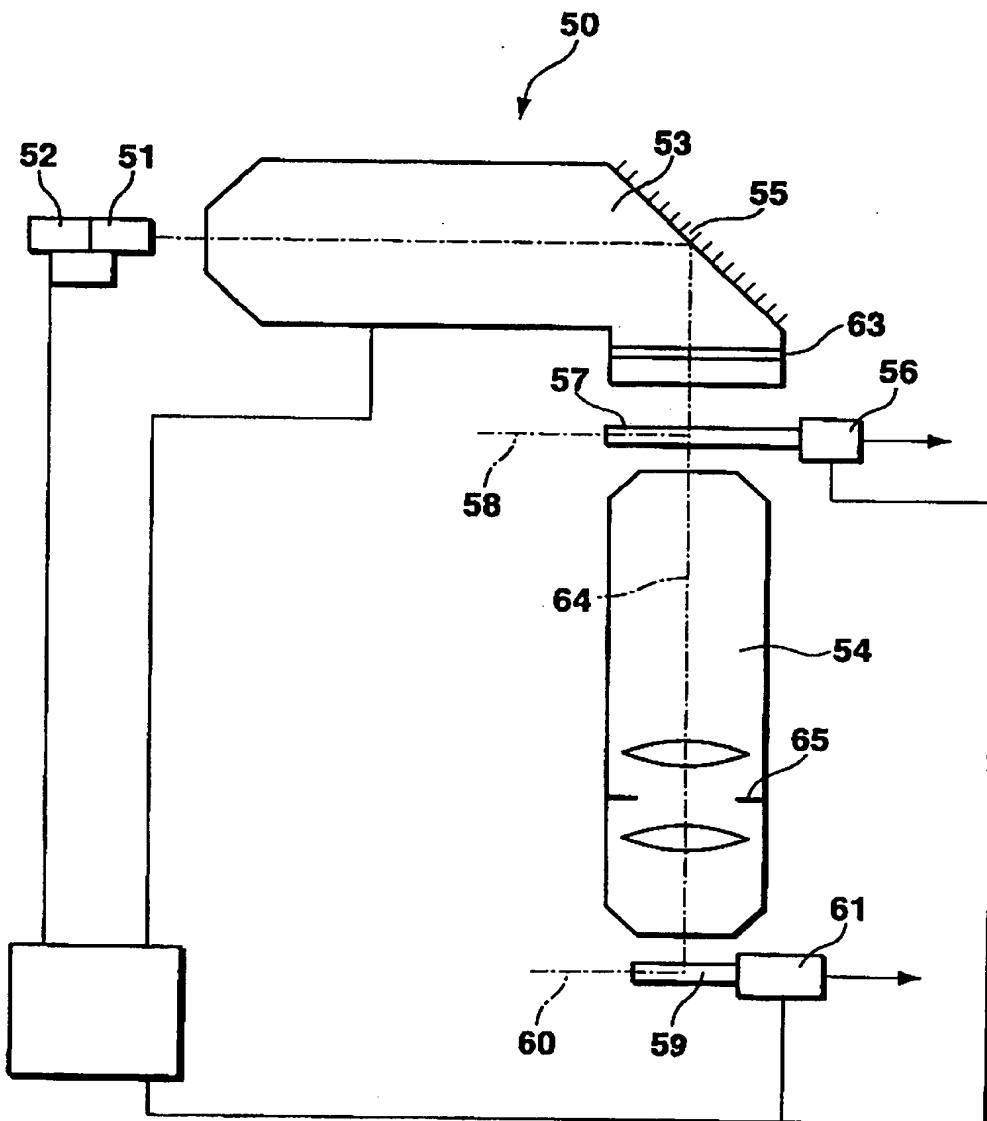


Fig. 7